ChinaXiv合作期刊

牛磺酸对早期断奶仔猪生长性能和肠道健康的影响

马娅君　张小龙*　陈庆菊　卢昌文　唐志如**

（西南大学动物科技学院，生物饲料与分子营养实验室，重庆 400715）

摘　要：本试验旨在研究牛磺酸（Tau）对早期断奶仔猪生长性能、血清指标、肠道黏膜形态结构和相关基因表达的影响及其机制，并对比 Tau 和谷氨酰胺（Gln）的添加效果。选择（17±2）日龄断奶、平均体重为（5.17±0.04） kg 的健康“（长×大）×荣昌”早期断奶仔猪 30 头，随机分为 3 个组，每组 10 个重复，每个重复 1 头猪。对照组（CON 组）饲喂基础饲粮，试验组分别在基础饲粮中添加 0.1% Tau（T 组）和 1.0% Gln（G 组）。试验期 17 d，其中预试期 3 d。结果表明：1) 与对照组相比，饲粮中添加 Tau 和 Gln 能显著提高早期断奶仔猪的平均日增重和平均日采食量（P<0.05），降低腹泻率，Gln 的效果优于 Tau。2) T 组早期断奶仔猪的血清白蛋白（ALB）含量显著高于对照组和 G 组（P<0.05）；与对照组相比，T 和 G 组的血清碱性磷酸酶（AKP）活性显著提高（P<0.05），血清天冬氨酸氨基转移酶（AST）活性显著降低（P<0.05）。3) 与对照组相比，T 和 G 组早期断奶仔猪的血清甘油三酯（TG）含量显著降低（P<0.05）。4) T 组早期断奶仔猪的血清超氧化物歧化酶（SOD）活性显著高于对照组和 G 组（P<0.05）；T 和 G 组的血清过氧化氢酶（CAT）活性显著高于对照组（P<0.05），G 组效果较好。5）与对照组相比，除色氨酸（Try）、组氨酸（His）、异亮氨酸（Ile）、苯丙氨酸（Phe）、缬氨酸（Val）和谷氨酸（Glu）外，T 和 G 组早期断奶仔猪的血清必需氨基酸（EAA）含量均呈升高趋势，血清非必需氨基酸（NEAA）含量均呈降低趋势；其中，饲粮中添加 Tau 对血清赖氨酸（Lys）、蛋氨酸（Met）和精氨酸（Arg）含量的提高效果显著优于 Gln。6）T 和 G 组早期断奶仔猪的空肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度显著高于对照组（P<0.05），隐窝深度显著低于对照组（P<0.05）。7）T 和 G 组早期

收稿日期：2018-04-05

基金项目：国家自然科学基金(31772610)；重庆市自然科学基金（cstc2016jcyjA1414）；重庆市留学人才创新计划重点项目(cx2017024)

作者简介：马娅君(1990—)，女，重庆石柱人，硕士研究生，研究方向为应用微生物。E-mail: 2398295473@qq.com

*同等贡献作者

**通信作者：唐志如，研究员，博士生导师，E-mail: tangzhiru2326@sina.com

chinaXiv:201812.00766v1

ChinaXiv合作期刊

断奶仔猪空肠和回肠黏膜的β-连环蛋白（β-catenin）mRNA 相对表达量显著低于对照组（P<0.05），G 组最低。本试验结果表明，饲粮中添加 0.1% Tau 或 1.0% Gln 能提高早期断奶仔猪的生长性能，促进肠道发育，添加 1.0% Gln 的效果略优于 0.1% Tau。

关键词：牛磺酸；谷氨酰胺；早期断奶仔猪；生长性能；肠道发育

中图分类号：S828　　　　　　文献标识码：　　　　　　　　文章编号：

仔猪生产是猪生产中最关键的环节，是影响养猪生产效益的重要因素。近年来，随着仔猪早期断奶技术的推广应用，对仔猪饲养管理的要求也越来越高。由于仔猪的许多机能尚不成熟，早期断奶仔猪的生长性能受到限制，常常会表现出一系列的不良现象，如厌食或拒食、消化机能紊乱、腹泻水肿、饲料利用率低和生长迟滞等，导致“仔猪早期断奶综合征”，严重影响养猪产业[1]。谷氨酰胺（glutamine，Gln）作为断奶仔猪的一种条件性氨基酸，能有效缓解早期断奶仔猪的断奶应激，但因其价格昂贵，添加量多，实际生产中将大量增加成本[2]。牛磺酸（taurine，Tau）作为一种含量丰富的游离氨基酸（FAA），具有抗氧化、调节脂类代谢、保护细胞、提高机体免疫和促进肠道发育等功能，因其价格低廉，添加量少，在猫和家禽饲粮中已有应用[3]。因此，本试验在断奶仔猪饲粮中添加 Tau 和 Gln，研究 Tau 对早期断奶仔猪生长性能和肠道健康的影响及其机制，对比 Tau 和 Gln 的添加效果，从而为进一步将 Tau 应用于早期断奶仔猪生产实践中提供理论依据。

1　材料与方法

1.1　试验材料

Tau 和 Gln 购自上海源聚生物科技有限公司，Tau（A3820）为药用级，纯度为 99.0%；Gln（A0090）纯度>98.5%。血清钙（Ca^{2+}）、磷（P）、总蛋白（total protein，TP）、白蛋白（albumin，ALB）、总胆固醇（total cholesterol，TC）、甘油三酯（triglycerides，TG）、丙二醛（malondialdehyde，MDA）、一氧化氮（nitric oxide，NO）、过氧化氢酶（catalase，CAT）、碱性磷酸酶（alkaline phosphatase，AKP）、天冬氨酸氨基转移酶（aspartate aminotransferase，AST）、丙氨酸转氨酶（alanine aminotransferase，ALT）、一氧化氮合酶（nitric oxide synthase，NOS）、抗超氧阴离子（anti superoxide anion，ASA）、乳酸脱氢酶（lactate dehydrogenase，LDH）、超氧化物歧化酶（superoxide dismutase，SOD）和谷胱甘肽过氧化物酶（glutathione peroxidase，GSH-Px）和总抗氧化能力（total antioxidant capacity，T-AOC）

chinaXiv:201812.00766v1

测定试剂盒均购自南京建成生物工程研究所；反转录试剂盒购自生工生物工程股份有限公司；Trizol、荧光定量 PCR 试剂盒和 SYBR Green Ⅰ均购自 Invitrogen（美国）公司。

1.2 试验设计与基础饲粮

试验于西南大学动物科技学院动物饲养基地进行。采用单因素完全随机设计，选择（17±2）日龄断奶、平均体重为（5.17±0.04） kg 的健康荣昌内三元“（长×大）×荣昌”早期断奶仔猪 30 头，随机分为 3 个组，每组 10 个重复，每个重复 1 头猪。对照组（CON 组）饲喂基础饲粮，试验组分别在基础饲粮中添加 0.1% Tau（T 组）和 1.0% Gln（G 组）。CON 和 T 组分别添加 1.2188%和 1.1476%丙氨酸以维持氮平衡。基础饲粮组成及营养水平见表 1。试验期 17 d，其中预试期 3 d。

试验在全封闭猪舍进行，试验前对猪舍进行消毒，采用单栏饲喂，饲喂干粉料，每天喂料 3 次，自由采食和饮水。其他饲养管理措施、驱虫及免疫接种按猪场常规程序进行。

表 1 基础饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of the basal diet (DM basis) %

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
玉米 Corn	65.89
豆粕 Soybean meal	16.00
鱼粉 Fish meal	5.00
乳清粉 Whey powder	4.00
麸皮 Wheat bran	5.80
石粉 Limestone	0.77
磷酸氢钙 $CaHPO_4$	0.70
甜味剂 Sweetener	0.06
抗氧化剂 Antioxidant	0.02
氯化胆碱 Choline chloride	0.08
维生素预混料 Vitamin premix[1)]	0.08
微量元素预混料 Trace mineral premix[2)]	0.30

chinaXiv:201812.00766v1

食盐 NaCl	0.25
苏氨酸 Thr	0.12
L–赖氨酸盐酸盐 *L*-Lys•HCl	0.53
色氨酸 Trp	0.34
蛋氨酸 Met	0.06
合计 Total	100.00
营养水平 Nutrient levels[3)]	
消化能 DE/(MJ/kg)	13.80
粗蛋白质 CP	17.00
钙 Ca	0.76
粗纤维 CF	2.60
有效磷 AP	0.39
赖氨酸 Lys	1.32
蛋氨酸 Met	0.38
色氨酸 Trp	0.22
苏氨酸 Thr	0.78

[1)]维生素预混料为每千克饲粮提供 Vitamin premix provided the following per kg of the diet：VA 2 017 IU，VD 208 IU，VE 14 IU，VK 0.49 mg，泛酸 pantothenic acid 10.1 mg，核黄酸 riboflavin 3.4 mg，叶酸 folic acid 0.29 mg，尼克酸 nicotinic acid 29.1 mg，硫胺素 thiamine 1.1 mg，VB_6 5.7 mg，生物素 biotin 0.06 mg，VB_{12} 0.017 mg。

[2)]微量元素预混料为每千克饲粮提供 Trace mineral premix provided the following per kg of the diet：$ZnSO_4·7H_2O$ 268 mg，$FeSO_4·7H_2O$ 323.33 mg，$MnSO_4·H_2O$ 11.54 mg，$CuSO_4·5H_2O$ 22.86 mg，KI 14.21 mg，Na_2SeO_3 28.37 mg。

[3)]消化能为计算值，其余为实测值。DE was a calculated value, and the others were measured values.

1.3 样品采集

试验期间记录耗料量和腹泻情况；分别于试验第 1 和 15 天 06:00 喂料前空腹称重，计

chinaXiv:201812.00766v1

chinaXiv:201812.00766v1

算平均日增重（ADG）、平均日采食量（ADFI）、料重比（F/G）及腹泻率（diarrhea rate）。试验第 15 天早晨，从每组随机抽取 5 头猪，前腔静脉采血 10 mL，静置 1 h 后于 3 000 r/min、4 ℃离心 8 min，移取血清，置于−20 ℃保存，用于血清指标和氨基酸含量测定。采血后，屠宰取空肠中段约 1 cm 的肠壁 2 段，用 0.9% NaCl 溶液将其冲洗干净，贴于滤纸上展平修剪，放入 10%福尔马林溶液中固定，石蜡包埋，连续切片，测定小肠绒毛高度和隐窝深度；用载玻片轻轻刮取空肠和回肠黏膜，置于液氮中冷冻，−80 ℃保存，用于相关基因相对表达量的测定。

1.4 测定指标与方法

1.4.1 生长性能和腹泻率

根据以下公式计算生长性能和腹泻率：

平均日增重（g/d）=全期增重（g）/试验天数(d)；

平均日采食量（g/d）=全期采食量（g）/试验天数(d)；

料重比=饲料消耗（g）/增重（g）；

腹泻率(%)=100×腹泻头次数/(仔猪头数×试验天数)。

1.4.2 血清指标

按照试剂盒说明书测定血清生化、脂类和抗氧化指标。血清氨基酸样品用 4%磺基水杨酸稀释 2 倍，于 16 000 r/min 离心 2 min，用 0.22 μm 滤膜过滤，采用日立 L−8800 型全自动氨基酸分析仪测定血清氨基酸含量。每个样品分析周期 53 min，分析时有 2 个柱：分离柱(4.6 mm×60 mm)，洗脱液流速 0.4 mL/min，柱温 70 ℃，柱压 10.627 MPa；反应柱，茚三酮及茚三酮缓冲液流速 0.35 mL/min，柱温 135 ℃，柱压 0.982 MPa。

1.4.3 肠道黏膜形态结构

肠道黏膜形态结构参照 Wang 等[4]方法进行测定，简要程序如下：从固定液中取出样品，乙醇脱水，二甲苯透明，石蜡包埋，制作 5 mm 厚切片，苏木精–伊红（HE）染色后显微镜下观察。利用 OPTPro 图像处理软件进行绒毛高度和绒毛宽度等空肠黏膜形态结构指标的测定，双盲法读片，每张切片取 5 个视野进行观察。

1.4.4 肠道黏膜β–连环蛋白（β-catenin）和胰岛再生源蛋白–3γ（*Reg*-3*γ*）mRNA 相对表达量

chinaXiv:201812.00766v1

用 Total RNA Extractor（购自上海生物工程有限公司）提取空肠和回肠黏膜总 RNA，$OD_{260\ nm}/OD_{280\ nm}$ 在 1.8～2.0 的样品进行下一步试验，用 M-MLV First Strand cDNA Synthesis Kit（购自上海生物工程有限公司）进行反转录得到 cDNA。

根据 GenBank 中猪的甘油醛–3–磷酸脱氢酶（*GAPDH*）、β-catenin 和 *Reg*-3γ基因序列，取保守区域设计引物，引物由生工生物工程股份有限公司合成，引物序列见表 2。荧光定量 PCR 反应体系：总体积为 25 μL，其中 Hotstart Fluo-PCR mix 12 μL，上、下游引物各 1 μL（25 μmol/L），cDNA 1 μL，ddH_2O 10 μL。荧光定量 PCR 反应条件：94 ℃预变性 4 min，94 ℃变性 30 s，63 ℃退火 30 s，72 ℃延伸 30 s，共 35 个循环。每个样品设 3 个重复。采用比较 *Ct* 法进行相对定量表达差异的计算方法，目的基因的表达量为 $2^{-\triangle\triangle Ct}$，$\triangle\triangle Ct=(Ct_{目的基因}-Ct_{内参基因})_{试验组}-(Ct_{目的基因}-Ct_{内参基因})_{对照组}$，$2^{-\triangle\triangle Ct}$ 表示的是试验组目的基因的表达量相对于对照组的变化倍数。

表 2　引物序列

Table 2　Sequences of primer

基因 Genes	登录号 Accession No.	产物大小 Product size/bp	引物序列 Primer sequence (5′—3′)	熔解温度 Melting temperature/℃
甘油醛-3-磷酸脱氢酶 *GAPDH*	NM_00206359.1	149	F:GAAGGTCGGAGTGAACGGAT R:CATGGGTAGAATCATACTGGAACA	65
β-连环蛋白 β-catenin	AB046171	156	F:CACGACCACAGCTCCTTCT R:GACACGAAGGATGCCTCAGC	62
胰岛再生源蛋白-3γ *Reg*-3*γ*	NM_001144847.1	185	F:GATTCCCCAGCAGACACGC R:GACACGAAGGATGCCTCAGC	64

1.5　数据处理与统计

试验数据用 Excel 2003 和 SAS 9.0 软件进行整理和单因素方差分析（one-way ANOVA），差异显著者采用 LSD 法进行多重比较。$P<0.05$ 为差异显著。

2　结　果

2.1　生长性能和腹泻率

由表 3 可知，与对照组相比，试验第 1～7 天，T 和 G 组早期断奶仔猪的腹泻率分别降

ChinaXiv合作期刊

低 26.08%和 39.14%；试验第 8～14 天，腹泻率分别降低 29.65%和 51.84%，G 组效果优于 T 组。

由表 4 可知，各组早期断奶仔猪的初重无显著差异（P>0.05）；T 和 G 组的平均日增重和平均日采食量显著高于对照组（P<0.05），G 组的平均日增重和平均日采食量比 T 组分别提高 4.11%和 3.38%，但差异不显著（P>0.05）；与对照组相比，T 和 G 组的料重比均降低 13.00%，但差异不显著（P>0.05）。

表 3　Tau 对早期断奶仔猪腹泻率的影响

Table 3　Effects of taurine on diarrhea rate of early-weaned piglets　%

时间 Time/d	组别 Groups		
	CON	T	G
1～7	32.86	24.29	20.00
8～14	19.29	13.57	9.29

表 4　Tau 对早期断奶仔猪生长性能的影响

Table 4　Effects of taurine on growth performance of early-weaned piglets

项目 Items	组别 Groups			SEM	P 值 P-value
	CON	T	G		
初重 IW/kg	5.16	5.21	5.14	0.02	0.161
末重 FW/kg	6.76^{b}	7.19^{a}	7.20^{a}	0.08	<0.001
平均日增重 ADG/(g/d)	114.50^{b}	141.40^{a}	147.20^{a}	5.82	<0.001
平均日采食量 ADFI/(g/d)	244.10^{b}	272.30^{a}	281.50^{a}	5.50	<0.001
料重比 F/G	2.23	1.94	1.94	0.13	0.203

同行数据肩标相同或无字母表示差异不显著(P>0.05)，不同小写字母表示差异显著(P<0.05)。下表同。

In the same row, values with the some or no letter superscripts mean no significant difference (P>0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (P<0.05). The same as below.

2.2　血清生化指标

chinaXiv:201812.00766v1

由表 5 可知，各组早期断奶仔猪的血清 ALB 含量、AST 和 AKP 活性差异显著（$P<0.05$）；其中，T 组的血清 ALB 含量显著高于对照组和 G 组（$P<0.05$）；与对照组相比，T 和 G 组的血清 AST 活性分别降低 7.51%和 11.17%，差异显著（$P<0.05$），G 组显著低于 T 组（$P<0.05$）；T 和 G 组的血清 AKP 活性显著高于对照组（$P<0.05$），T 和 G 组之间无显著差异（$P>0.05$）。T 组的血清 Ca^{2+}含量分别比对照组和 G 组提高 24.89%和 14.12%，但差异不显著（$P>0.05$）。与对照组相比，T 和 G 组的血清 P 含量分别降低 17.85%和 12.50%，但差异不显著（$P>0.05$）。

表 5　Tau 对早期断奶仔猪血清生化指标的影响

Table 5　Effects of taurine on serum biochemical indexes of early-weaned piglets

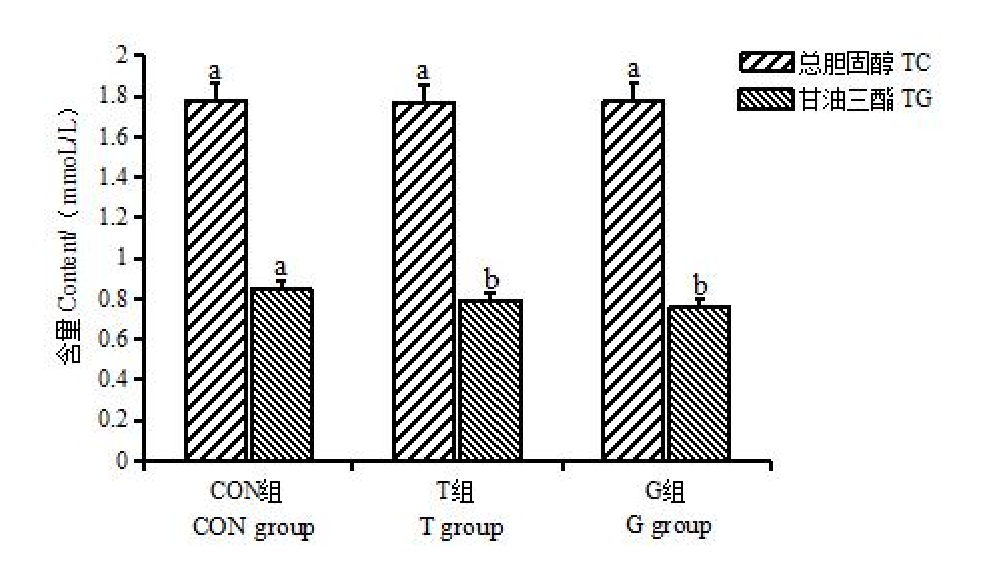
项目 Items	组别 Groups CON	T	G	SEM	*P* 值 *P*-value
钙 Ca^{2+}(mmol/L)	2.33	2.91	2.55	0.19	0.102
磷 P/(mmol/L)	1.12	0.92	0.98	0.03	0.132
总蛋白 TP/(g/L)	45.82	44.09	40.68	2.21	0.283
白蛋白 ALB/(g/L)	27.88[b]	29.48[a]	27.13[b]	0.31	<0.001
天冬氨酸氨基转移酶 AST/(U/L)	53.55[a]	49.53[b]	47.57[c]	0.43	<0.001
丙氨酸转氨酶 ALT/(U/L)	49.62	48.69	48.23	2.43	0.919
乳酸脱氢酶 LDH/(U/L)	576.30	554.60	525.70	49.47	0.773
碱性磷酸酶 AKP/(U/L)	283.40[b]	337.20[a]	330.40[a]	2.34	<0.001

2.3　血清脂类指标

由图 1 可知，各组早期断奶仔猪的血清 TC 含量无显著差异（$P>0.05$）；与对照组相比，T 和 G 组的血清 TG 含量显著降低（$P<0.05$），T 和 G 组之间无显著差异（$P>0.05$）。

chinaXiv:201812.00766v1

chinaXiv:201812.00766v1



数据柱标注不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。图 3 同。

Value columns with different small letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05). The same as Fig.3.

图 1　Tau 对早期断奶仔猪血清脂类指标的影响

Fig.1　Effects of taurine on serum lipid indexes of early-weaned piglets

2.4　血清抗氧化指标

由表 6 可知，T 组早期断奶仔猪的血清 SOD 活性显著高于对照组和 G 组（*P*<0.05），G 组和对照组之间无显著差异（*P*>0.05）；T 和 G 组的血清 CAT 活性显著高于对照组（*P*<0.05），G 组效果最好；与对照组相比，T 和 G 组的血清 T-AOC 分别提高 7.37%和 8.27%，NO 含量分别降低 8.60%和 8.52%，MDA 含量分别降低 3.23%和 5.53%，但差异均不显著（*P*>0.05）。

表 6　Tau 对早期断奶仔猪血清抗氧化指标的影响

Table 6　Effects of taurine on serum antioxidant indexes of early-weaned piglets

项目 Items	组别 Groups			SEM	*P* 值 *P*-value
	CON	T	G		
超氧化物歧化酶 SOD/(U/mL)	137.70^{b}	148.50^{a}	137.20^{b}	2.19	0.005
谷胱甘肽过氧化物酶 GSH-Px/(U/mL)	61.22	60.10	60.60	1.11	0.777
过氧化氢酶 CAT/(U/mL)	121.30^{c}	124.30^{b}	133.40^{a}	2.63	0.018
抗超氧阴离子 ASA/(U/L)	246.10	251.40	250.50	2.48	0.315
总抗氧化能力 T-AOC/(U/mL)	6.65	7.14	7.20	0.37	0.524

一氧化氮合酶 NOS/(U/mL)	18.26	18.05	17.65	0.57	0.746
一氧化氮 NO/(μmol/L)	35.46	32.41	32.44	1.21	0.166
丙二醛 MDA/(nmol/mL)	4.34	4.20	4.10	0.13	0.447

2.5 血清氨基酸含量

由表 7 可知，与对照组相比，除色氨酸（Try）、组氨酸（His）、异亮氨酸（Ile）、苯丙氨酸（Phe）、缬氨酸（Val）和谷氨酸（Glu）外，T 和 G 组早期断奶仔猪的血清必需氨基酸（EAA）含量均呈升高趋势，血清非必需氨基酸（NEAA）含量均呈降低趋势。各组的血清赖氨酸（Lys）、蛋氨酸（Met）、精氨酸（Arg）、半胱氨酸（Cys）、亮氨酸（Leu）、苏氨酸（Thr）、丙氨酸（Ala）、天冬氨酸（Asp）、甘氨酸（Gly）、脯氨酸（Pro）和酪氨酸（Tyr）含量差异显著（P<0.05）。饲粮中添加 Tau 对血清 Lys、Met 和 Arg 含量的提高效果显著优于 Gln。

表 7　Tau 对早期断奶仔猪血清氨基酸含量的影响

Table 7　Effects of taurine on serum amino acid contents of early-weaned piglets　mg/dL

项目	组别 Groups			SEM	*P* 值
Items	CON	T	G		*P*-value
必需氨基酸 EAA					
赖氨酸 Lys	2.16^{c}	2.66^{a}	2.40^{b}	0.047	<0.001
蛋氨酸 Met	0.59^{b}	0.69^{a}	0.59^{b}	0.015	<0.001
色氨酸 Try	2.11	2.19	2.07	0.061	0.395
精氨酸 Arg	1.43^{c}	1.86^{a}	1.60^{b}	0.056	<0.001
半胱氨酸 Cys	1.07^{b}	1.24^{a}	1.29^{a}	0.052	0.026
组氨酸 His	2.01	2.09	2.05	0.052	0.569
异亮氨酸 Ile	1.36	1.37	1.34	0.050	0.910
亮氨酸 Leu	1.28^{c}	1.92^{b}	2.01^{a}	0.029	<0.001
苯丙氨酸 Phe	2.30	2.25	2.19	0.110	0.774
缬氨酸 Val	2.22	2.13	2.01	0.170	0.685
苏氨酸 Thr	4.89^{a}	5.00^{a}	4.70^{b}	0.050	0.007

chinaXiv:201812.00766v1

chinaXiv:201812.00766v1

非必需氨基酸 NEAA					
丙氨酸 Ala	7.50^{a}	6.87^{b}	5.65^{c}	0.140	<0.001
天冬氨酸 Asp	0.99^{ab}	1.06^{a}	0.92^{b}	0.029	0.023
谷氨酸 Glu	6.70	6.92	6.68	0.089	0.152
甘氨酸 Gly	11.67^{a}	9.67^{b}	7.24^{c}	0.170	<0.001
脯氨酸 Pro	3.05^{b}	3.56^{a}	2.86^{b}	0.084	<0.001
酪氨酸 Tyr	2.58^{a}	2.46^{ab}	2.31^{b}	0.064	0.032

2.6 肠道黏膜形态结构

由表 8 可知，T 和 G 组早期断奶仔猪的空肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度显著高于对照组（P<0.05），T 和 G 组之间差异不显著（P>0.05）；与对照组相比，T 和 G 组的空肠隐窝深度显著降低（P<0.05），T 和 G 组之间差异不显著（P>0.05）。各组的回肠绒毛高度差异不显著（P>0.05），但与对照组相比，T 和 G 组分别提高 6.19%和 6.58%。

表 8 Tau 对早期断奶仔猪肠道黏膜形态结构的影响

Table 8 Effects of taurine on intestinal mucosa morphological structure of early-weaned piglets

项目 Items	组别 Groups CON	T	G	SEM	*P* 值 *P*-value
空肠 Jejunum					
绒毛高度 Villus height/μm	205.20^{b}	216.80^{a}	221.70^{a}	2.380	<0.001
隐窝深度 Crypt depth/μm	161.70^{a}	152.30^{b}	148.00^{b}	2.570	0.008
绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.27^{b}	1.43^{a}	1.50^{a}	0.029	<0.001
回肠 Ileum					
绒毛高度 Villus height/μm	179.20	190.30	191.00	3.350	0.050
隐窝深度 Crypt depth/μm	149.80	146.80	149.60	3.780	0.822
绒毛高度/隐窝深度 V/C	1.20	1.30	1.28	0.038	0.178

由图 2 可知，早期断奶导致仔猪空肠和回肠绒毛明显变短，生理排列出现紊乱，绒毛顶端出现严重断裂，大片缺失，数量明显减少，部分细胞甚至坏死脱落形成糜烂，淋巴细胞浸润增加。与对照组相比，T 和 G 组早期断奶仔猪的空肠和回肠绒毛排列整齐密集，轮廓清

chinaXiv:201812.00766v1

晰，断裂片段明显减少。

CON 组 CON group　　T 组 T group　　G 组 G group

空肠

Jejunum

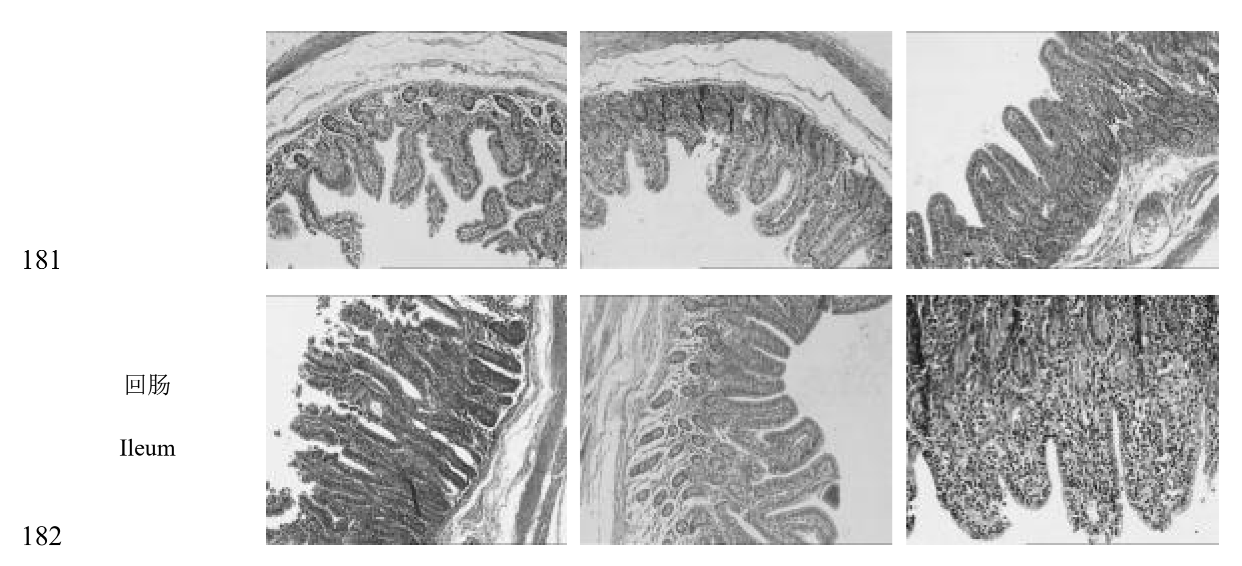


图 2　早期断奶仔猪空肠和回肠黏膜形态

Fig.2　The jejunum and ileum mucosa morphology of early-weaned piglets　（40×）

2.7　肠道黏膜β-catenin 和 *Reg*-3γ mRNA 相对表达量

由图3可知，各组早期断奶仔猪空肠和回肠黏膜的β-catenin mRNA相对表达量差异显著（$P<0.05$）；T和G组空肠和回肠黏膜的β-catenin mRNA相对表达量显著低于对照组（$P<0.05$），G组最低。各组空肠和回肠黏膜的*Reg*-3γ mRNA相对表达量差异不显著（$P>0.05$）。

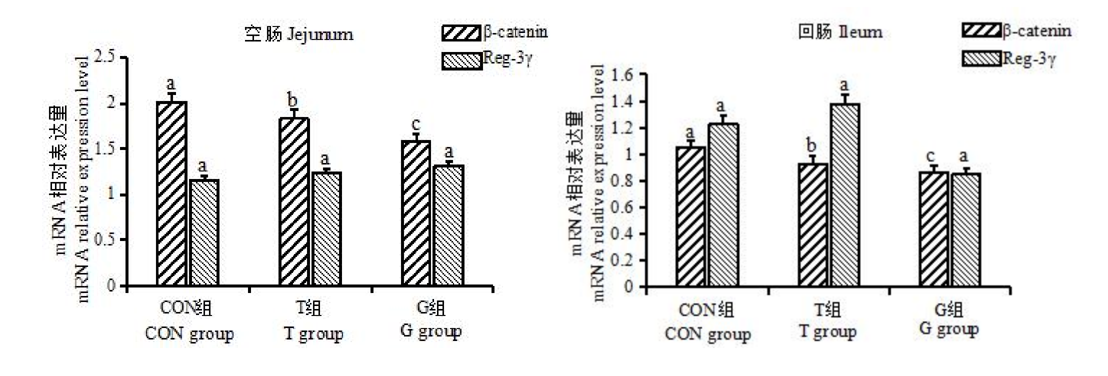


图3　Tau对早期断奶仔猪肠道黏膜基因mRNA相对表达量的影响

Fig.3　Effects of taurine on mRNA relative expression levels of intestinal mucosa genes of

ChinaXiv合作期刊

early-weaned piglets

3 讨　论

3.1　Tau对早期断奶仔猪生长性能和腹泻率的影响

Liu 等[5]报道断奶仔猪饲粮中添加 Tau 能提高其生长速度和饲料转化率。黄仁术等[6]报道饲粮中添加 0.1% Tau 后，断奶仔猪第 1 周的生长性能显著提高，其中平均日增重提高 6.63%，料重比降低 1.10%，经济效益增加 6.14%。Zhang 等[7]在断奶仔猪饲粮中添加 1% Tau 后发现，与对照组相比，断奶后第 10 天试验组的料重比降低 12.05%，采食量和日增重差异不显著，但有提高趋势；断奶后第 20 天试验组的日增重提高 27.75%。李成宝等[8]报道饲粮中添加 1% Gln 有降低断奶仔猪腹泻率的趋势。刘悦[9]发现在断奶仔猪饲粮中添加低剂量的 Tau 能显著降低断奶仔猪的腹泻频率。本试验研究结果与上述试验结果相似，Tau 提高断奶仔猪生长性能及降低腹泻率的原因可能是：Tau 能够降低仔猪因断奶应激引起的胃肠道损伤，增强断奶仔猪自身的免疫功能和抵抗能力；Tau 以牛磺胆酸的形式促进体内脂类代谢，且能够缓解体内因断奶应激引起的氧化应激，清除体内过氧化物；Tau 促进机体内铁（Fe）、铜（Cu）和锌（Zn）等微量元素的吸收，直接或间接促进机体发育。

3.2　Tau 对早期断奶仔猪血清指标的影响

本试验结果表明，饲粮中添加 Tau 提高了早期断奶仔猪的血清 Ca^{2+}含量，Ca^{2+}含量升高可能与血清 ALB 含量的升高有关，因为 Ca^{2+}能够与血清 ALB 结合，机体在应激状态下胞内 Ca^{2+}含量升高时，血清 ALB 作为 Ca^{2+}载体，与 Ca^{2+}结合并将其运出胞外，维持细胞 Ca^{2+}平衡[10]。本试验结果发现，饲粮中添加 Tau 能够显著降低血清 AST 活性。其机制可能是 Tau 能提高机体的抗氧化功能，降低细胞膜脂类反应水平，从而保护细胞膜的完整性，减少 AST 从组织细胞逸出。动物血清中的 AKP 由骨髓和肝脏产生，其含量的变化可以反映出动物机体骨髓和肝脏的生理功能状况，同时也是衡量动物机体健康的重要指标之一。本试验结果表明，与对照组相比，T 和 G 组的血清 AKP 活性显著升高，且与血清 P 含量大致呈负相关，与刘洋景[11]报道相一致。这说明 Tau 能在一定程度上平衡断奶仔猪的骨骼营养，抑制成骨细胞活性，获得适宜的骨骼矿化，促进骨骼生长。陈静等[12]报道，随着动物年龄的增加，血清 AKP 活性降低，原因可能是 AKP 是成骨细胞的产物，当成骨细胞变为骨细胞时，其活性就会下降。

chinaXiv:201812.00766v1

本试验通过对 TC 和 TG 的分析来研究早期断奶仔猪体内的脂类代谢情况，得出各组的血清 TC 含量差异不显著，T 和 G 组的血清 TG 含量显著低于对照组，说明早期断奶仔猪饲粮中添加 0.1% Tau 可以在一定程度上调节脂类代谢，且效果与添加 1.0% Gln 相当。Tau 调节脂类代谢的原因可能是：Tau 可促进胆酸合成过程中的限速酶 7α–羟化酶的合成，通过刺激胆酸合成加速体内 TC 和 TG 的清除；Tau 通过上调低密度脂蛋白胆固醇受体（low density lipoprotein-cholesterol receptor，*LDLR*）表达或提高与 LDLR 结合能力的方式降低 TG 含量。曾得寿等[13]研究发现，饲粮中添加 Tau 能显著提高 21 日龄肉仔鸡胰脏和小肠内容物的脂肪酶活性。高春生等[14]报道 Tau 能够通过提高脂肪酶的活性影响鱼体的脂类代谢。

本试验结果表明，虽然各组早期断奶仔猪的血清 GSH-Px 活性差异不显著，但饲粮中添加 0.1% Tau 显著提高血清 SOD 和 CAT 活性，MDA 含量呈下降趋势。Winiarska 等[15]研究表明，Tau 可提高兔血清及肝脏中 SOD 和 GSH-Px 活性，提高机体的抗氧化能力，降低血清 MDA 含量。王芙蓉等[16]报道，Tau 可降低产蛋鹌鹑血清 MDA 含量，说明 Tau 具有减少过氧化脂质（LPO）、提高机体抗氧化能力的作用。郝中禹等[17]综述，Tau 能降低细胞内 MDA 和活性氧含量，提高 SOD 和 GSH-Px 活性，与本试验研究结果相似。本试验结果表明，饲粮中添加 Tau 能够降低早期断奶仔猪的血清 NO 含量，Tau 降低血清 NO 含量可能与 Tau 抑制 *NOS* 基因表达有关。Roy 等[18]报道，Tau 可通过 DNA 的转录因子切断 *NOS* 基因表达，降低 NO 含量，进而抑制应激诱导的炎症反应，最终保护细胞。

本试验结果表明，Tau 能够提高血清 EAA 中 Lys、Met、Arg、Cys 和 Leu 含量，其中 Tau 对血清 Lys、Met 和 Arg 含量的提高效果显著优于 Gln。血清 Leu 和 Lys 含量的增加可能与血清 ALB 含量的增加有关，因为 ALB 是肝脏中合成的一种重要蛋白质，是动物营养状况的重要指标，主要由 Leu 和 Lys 等氨基酸构成，ALB 含量的增加常伴随着 Leu 和 Lys 含量的增加[19]。本试验也发现 Tau 可使早期断奶仔猪的血清 ALB 含量增加。郑萍等[20]报道，氧化应激状态下，组织代谢需要更多的氨基酸，增强组织对血浆 EAA 的吸收，断奶仔猪血清 Met、Arg 和 Cys 含量显著降低。本试验中，早期断奶仔猪的血清 Met、Arg 和 Cys 含量增加可能是因为 Tau 降低了仔猪机体的氧化应激，降低了组织对血清 EAA 的吸收，从而增加了血清 Met、Arg 和 Cys 含量。本试验结果还发现，饲粮中添加 Tau 显著降低早期断奶仔猪血清 NEAA 中 Ala、Gly 和 Pro 含量。Ala 和 Gly 含量降低的原因可能是仔猪在断奶应激

chinaXiv:201812.00766v1

状态下组织代谢需要更多的氨基酸，增强了组织对血清 EAA 的吸收，而 Tau 与 Ala 和 Gly 的代谢无关[21]。而 Pro 作为 Arg 的代谢产物，其在血清中的含量受 Arg 合成量的影响，Arg 含量显著升高，导致 Arg 的代谢产物含量降低，Pro 含量随之降低[22]。

3.3　Tau 对早期断奶仔猪肠道黏膜形态的影响

本试验研究发现，饲粮中添加 0.1% Tau 或 1.0% Gln 均可显著提高空肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度，显著降低空肠隐窝深度，添加 0.1% Tau 和 1.0% Gln 差异不显著，回肠绒毛高度呈升高趋势，T 组的小肠黏膜肠上皮结构完整性明显高于对照组，表明 Tau 能够缓解仔猪因早期断奶导致的肠道应激。王建军[23]报道，Tau 能够明显缓解炎症引起的小鼠小肠黏膜上皮细胞绒毛脱落和坏死，炎症细胞浸润明显减少，血浆和肠组织中 NO 和 MDA 含量降低，SOD 活性升高。推测 Tau 可能通过降低肠道氧化应激保护肠黏膜，断奶仔猪腹泻率降低可能与此存在关联。此外，Tau 缓解仔猪肠道断奶应激还可能通过抑制肠道内毒素移位，促进肠道相关基因的表达，从而保护肠道的完整性[24]。

3.4　Tau 对早期断奶仔猪肠道黏膜相关基因表达的影响

本试验结果显示，饲粮中添加 Tau 和 Gln 能够显著降低早期断奶仔猪空肠和回肠黏膜的β-catenin mRNA 相对表达量。Tau 降低β-catenin mRNA 相对表达量可能与 Tau 能够提高机体的抗氧化性有关[25]。研究表明，Tau 能够提高大鼠血清和组织中 SOD、CAT 和 GSH-Px 等抗氧化物的活性，抗氧化物可清除过氧化氢（hydrogen peroxide，H_2O_2）[26]。田黎明[27]研究发现，β-catenin mRNA 相对表达量在 H_2O_2 诱导的人成纤维细胞的氧化模型中显著提高，抑制 Wnt/β-catenin 信号通路能够降低机体氧化应激反应。推测 Tau 可能通过降低肠道 H_2O_2 含量，从而影响 Wnt/β-catenin 信号通路的激活，β-catenin 从复合物中释放量降低，β-catenin mRNA 相对表达量也随之降低。Tau 还能降低免疫抑制因子肿瘤坏死因子-α（TNF-α）含量[17]，补充 Tau 可使血液中 TNF-α含量降低[28]。范正伟[29]研究发现，TNF-α通过与细胞膜上的受体结合，进入细胞基质，维持β-catenin 不被降解而进入细胞核，从而激活 Wnt/β-catenin 信号通路。推测 Tau 可能通过降低肠道的 TNF-α含量，从而减少对 Wnt/β-catenin 信号通路的激活，β-catenin mRNA 相对表达量降低。

4　结　论

① 饲粮中添加 0.1% Tau 或 1.0% Gln 均可显著提高早期断奶仔猪的平均日增重、平均

chinaXiv:201812.00766v1

日采食量、空肠绒毛高度和绒毛高度/隐窝深度，显著降低料重比。

② 饲粮中添加 0.1% Tau 或 1.0% Gln 可提高早期断奶仔猪的血清 Ca^{2+}、EAA 含量及 AKP、SOD 和 CAT 活性，显著降低血清 TG 含量和小肠黏膜β-catenin mRNA 相对表达量。

③ 饲粮中添加 0.1% Tau 或 1.0% Gln 能提高早期断奶仔猪的生长性能，促进肠道发育，1.0% Gln 的效果略优于 0.1% Tau。

参考文献：

[1] HUR J,LEE J H.Development of a novel live vaccine delivering enterotoxigenic *Escherichia coli* fimbrial antigens to prevent post-weaning diarrhea in piglets[J].Veterinary Immunology and Immunopathology,2012,146(3/4):283–288.

[2] NORDGREN A,KARLSSON T,WIKLUND L.Glutamine concentration and tissue exchange with intravenously administered α-ketoglutaric acid and ammonium:a dose-response study in the pig[J].Nutrition,2002,18(6):496–504.

[3] CHAMPION E E,MANN S J,GLAZIER J D,et al.Characterisation of long term cat placental explant cultures:uptake of taurine by system β[J].Placenta,2005,26(8/9):608–616.

[4] WANG W C,GU W T,TANG X F,et al.Molecular cloning,tissue distribution and ontogenetic expression of the amino acid transporter $b^{0,+}$ cDNA in the small intestine of *Tibetan* suckling piglets[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,2009,154(1):157–164.

[5] LIU Y,MAO X B,YU B,et al.Excessive dietary taurine supplementation reduces growth performance,liver and intestinal health of weaned pigs[J].Livestock Science,2014,168:109–119.

[6] 黄仁术,彭志玲,凌明亮.牛磺酸在断奶仔猪高动物蛋白日粮中的添加效应[J].中兽医医学杂志,2008,27(6):30–32.

[7] ZHANG B L,YU C N,LIN M,et al.Regulation of skeletal muscle protein synthetic and degradative signaling by alanyl-glutamine in piglets challenged with *Escherichia coli* lipopolysaccharide[J].Nutrition,2015,31(5):749–756.

chinaXiv:201812.00766v1

chinaXiv:201812.00766v1

[8]李成宝,王雷,张俊梅,等.谷氨酰胺对断奶仔猪生长性能、血液生化指标及血浆氨基酸的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2017(5):123–125.

[9]刘悦.牛磺酸对断奶仔猪生长性能、组织病理学和肠道健康影响的研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2014.

[10] LAKSHMI DEVI S,ANURADHA C V.Mitochondrial damage,cytotoxicity and apoptosis in iron-potentiated alcoholic liver fibrosis:amelioration by taurine[J].Amino Acids,2010,38(3):869–879.

[11] 刘洋景.牛磺酸对笼养后备蛋鸭的作用研究[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2012.

[12] 陈静,刘显军,边连全,等.谷氨酰胺对早期断奶仔猪血清 GPT、AKP 活性的影响[J].中国饲料,2006(5):14–15.

[13] 曾得寿,高振华,黄晓亮,等.牛磺酸对肉仔鸡生产性能、养分利用率及脂肪酶活性的影响[J].畜牧与兽医,2008,40(9):17–21.

[14] 高春生,范光丽,王艳玲.牛磺酸对黄河鲤鱼生长性能和消化酶活性的影响[J].中国农业通报,2007,23(6):645–647.

[15] WINIARSKA K,SZYMANSKI K,GORNIAK P,et al.Hypoglycaemic,antioxidative and nephroprotective effects of taurine in alloxan diabetic rabbits[J].Biochimie,2009,91(2):266–270.

[16] 王芙蓉,佟建明,张晓鸣,等.牛磺酸对鹌鹑生产性能、免疫功能及抗氧化能力的影响[J].食品与生物技术学报,2011,30(2):190–193.

[17] 郝中禹,杨加明,肖克权,等.牛磺酸的生理功能及其在猪生产中的应用[J].动物营养学报,2018,30(6):2050–2056.

[18] ROY A,SIL P C.Taurine protects murine hepatocytes against oxidative stress-induced apoptosis by tert-butyl hydroperoxide via PI3K/Akt and mitochondrial-dependent pathways[J].Food Chemistry,2012,131(4):1086–1096.

[19] DAI Z L,ZHANG J,WU G Y,et al.Utilization of amino acids by bacteria from the pig small intestine[J].Amino Acids,2010,39(5):1201–1215.

chinaXiv:201812.00766v1

[20] 郑萍,余冰,田刚,等.精氨酸对氧化应激仔猪生长性能和血浆游离氨基酸浓度的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(21):38–42.

[21] LI X L,REZAEI R,LI P,et al.Composition of amino acids in feed ingredients for animal diets[J].Amino Acids,2011,40(4):1159–1168.

[22] MURPHY J M,MURCH S J,BALL R O.Proline is synthesized from glutamate during intragastric infusion but not during intravenous infusion in neonatal piglets[J].The Journal of Nutrition,1996,126(4):878–886.

[23] 王建军.牛磺酸对不完全性肠梗阻大鼠肠屏障保护作用的研究[D].硕士学位论文.天津:天津医科大学,2008.

[24] 黄春喜,袁建敏,周向梅.牛磺酸对断奶小鼠小肠发育的影响[J].中国农业大学学报,2014,19(4):129–136.

[25] PINTO D,GREGORIEFF A,BEGTHEL H,et al.Canonical Wnt signals are essential for homeostasis of the intestinal epithelium[J].Genes & Development,2003,17(14):1709–1713.

[26] 周伟伟,卜仕金.牛磺酸对大鼠体内抗氧化系统的影响研究[J].中国兽药杂志,2006,40(8):13–15.

[27] 田黎明.β-catenin 抗氧化应激所致人皮肤成纤维细胞衰老的机制研究[D].博士学位论文.长沙:中南大学,2011.

[28] 吕秋凤,金淑清,胡建民,等.牛磺酸对大鼠血压及血管活性物质的影响[J].沈阳农业大学学报,2008,39(2):201–204.

[29] 范正伟.探讨 TNF-α与 Wnt/β-catenin 信号通路在小鼠原代前脂肪分化过程中相互作用机制[D].硕士学位论文.济南:山东师范大学,2013.

Effects of Taurine on Growth Performance and Intestinal Health of Early-weaned Piglets[1]

MA Yajun ZHANG Xiaolong* CHEN Qingju LU Changwen TANG Zhiru**

(*Key Laboratory for Bio-Feed and Animal Nutrition*, *College of Animal Science and Technology*, *Southwest University*, *Chongqing* 400715, *China*)

Abstract: This study was conducted to investigate the effects and mechanisms of taurine (Tau) on

*Contribute equally
**Corresponding author, professor, E-mail: tangzhiru2326@sina.com
（责任编辑　李慧英）

chinaXiv:201812.00766v1

growth performance, serum indexes, intestinal mucosa morphological structure and related gene expressions of early-weaned piglets, and compared the supplemental effects of Tau and glutamine (Gln). Thirty healthy "(Landrace×Yorkshire)×Rongchang" early-weaned piglets weaned at (17±2) days with average body weight of (5.17±0.04) kg were randomly divided into 3 groups with 10 replicates per group and 1 piglets per replicate. Piglets in control group (CON group) were fed a basal diet, and the others in experimental groups were fed the basal diets supplemented with 0.1% Tau (T group) and 1.0% Gln (G group), respectively. The experiment lasted for 17 days including 3 days of adaptation period. The results showed as follows: 1) compared with CON group, dietary Tau and Gln significantly increased average daily gain and average daily feed intake (P<0.05), and decreased diarrhea rate of early-weaned piglets, the effects of Gln was better than Tau. 2) The content of albumin (ALB) in serum of early-weaned piglets in T group was significantly higher than that in CON and G groups (P<0.05). Compared with CON group, the activity of alkaline phosphatase (AKP) in serum in T and G groups was significantly increased (P<0.05), but the activity of aspartate aminotransferase (AST) in serum in T and G groups was significantly decreased (P<0.05). 3) Compared with CON group, the content of triglyceride (TG) in serum of early-weaned piglets in T and G groups was significantly decreased (P<0.05). 4) The activity of superoxide dismutase (SOD) in serum of early-weaned piglets in T group was significantly higher than that in CON and G groups (P<0.05), and the activity of catalase (CAT) in serum in T and G groups was significantly higher than that in CON group (P<0.05), the effects of G group was better. 5) Compared with CON group, the contents of essential amino acid (EAA) in serum of early-weaned piglets in T and G groups had an increasing trend, but the contents of non-essential amino acid (NEAA) in serum had a decreasing trend, except for tryptophan (Try), histidine (His), isoleucine (Ile), phenylalanine (Phe), valine (Val) and glutamate (Glu). Dietary Tau had a better increasing effect than Gln on the contents of lysine (Lys), methionine (Met) and arginine (Arg) in serum. 6) Jejunal villus height and the ratio of villus height to crypt depth of early-weaned piglets in T and G groups were significantly higher than those in CON group (P<0.05), and crypt depth was significantly lower than that in CON group (P<0.05). 7) The mRNA relative expression level

of jejunal and ileal mucosa β-catenin of early-weaned piglets in T and G groups was significantly lower than that in CON group (P<0.05), and that in G group was lowest. These results indicate that diet supplemented with 0.1% Tau or 1.0% Gln can improve growth performance and intestinal development of early-weaned piglets, and the supplemental effects of 1.0% Gln are slightly better than 0.1% Tau.

Key words: taurine; glutamine; early-weaned piglets; growth performance; intestinal development

chinaXiv:201812.00766v1